

開度による地形特徴の表示

Representation of topographical features by openness

横山 隆三*・白沢 道生*・菊池 祐*

Ryuzo YOKOYAMA, Michio SIRASAWA and Yu KIKUCHI

Abstract: Overground-openness and underground-openness are defined for a grid point on digital elevation models. The former is a characteristic quantity to describe sky extent over the point within a distance L and takes large values for convex landforms. The latter is to describe underground extent and takes large values for concave landforms. These concepts are applied to 50m-mesh digital elevation model of Mt. Iwate to make openness maps of $L=5\text{km}$ and $L=0.5\text{km}$. The maps were found useful to represent topographical features such as the lines of ridge and valley.

1. 序 論

デジタル標高モデルの普及により、地形の表示及び解析がコンピュータを用いて効果的におこなえるようになってきた。地形図に立体感をもたせて表示する方法としては、古くから hill shading 法によるレリーフマップの技法が知られている。これは、光源に向いている斜面は明るく、光源を背にしている斜面を暗く表示する方法である。手作業で作成されるレリーフマップには精度や再現性に限界があったが、今やデジタル標高モデルからレリーフマップを作成する手順は数学的に体系化され、用途に応じて種々のものが作成できるようになってきている^{1,2)}。レリーフマップにおいては光の到来方向に交差している地形変化は明確に表現できるが、光の到来方向に並行している地形変化は不明確となる。一方デジタル標高モデルから種々の地形特徴(尾根線、谷線、斜度、谷密度、集水域など)を抽出する方法も提案されてきている³⁻⁶⁾。しかし、これらのアルゴリズムの多くは地点近傍の標高値による局所演算をもとにしているため、ノイズに弱く、大局的

な地形特徴を把握しきれないという短所を持っている。

本論文では「開度」という概念を導入して、デジタル標高モデルにより地形特徴を表示する新しい手法を提案する。直感的には、開度は当該地点が周囲に比べて地上に突き出ている程度及び地下に食い込んでいる程度を数量化したものである。開度図は計算距離の指定によって、地形規模に適合した情報抽出が可能であり、方向性及び局所ノイズに依存しない表示が可能である。実際に国土地理院発行の「数値地図50mメッシュ(標高)」をもとに岩手山周辺地域の開度図を作成したところ、本手法は特に尾根線及び谷線の抽出に優れており、豊富な地形・地質情報が判読できることが明らかとなった。

第2章では「数値地図50mメッシュ(標高)」について述べ、第3章では開度の定義をおこなう。第4章では作成した開度図について述べる。第5章は結論である。

2. UTM座標系によるデジタル標高モデルの作成

「数値地図50mメッシュ(標高)」は、1/25,000地形図の縦・横を各々200等分したメッシュ(メッシュ間隔は緯線方向が2.25秒、経線方向が1.50秒となっている)

*岩手大学工学部情報工学科
Department of Computer Science, Iwate University
「写真測量とリモートセンシング」VOL. 38, NO. 4, 1999

の中心の標高を10cm 刻みで読み出して2次元配列としたものである。「数値地図50m メッシュ (標高)」における標本地点 (標高値を読み出した位置) 間の距離は緯経度によって異なり (例えば北緯40度線上では南北方向が46.26m に対して東西方向が53.37m となる), また標本地点の配列方向と方位が南北以外では一致せず, そのズレも距離が大きくなると共に増大する。

広域の地形解析には標本地点の間隔が一定で, 方位とデータ配列の方向とが一致しているデジタル標高モデルが便利である。このため我々は「数値地図50m メッシュ (標高)」をもとに, 標本地点間隔を50m とする UTM 図法 (Zone 52~55 を適用した) によるデジタル標高データを作成した。これを UTM-DEM と呼ぶことにする。「数値地図50m メッシュ (標高)」から UTM-DEM への変換では共一次内挿法を採用した。

図1は UTM-DEM の標本地点の配置を示したものである。方位が北を0度とする時計回りの角度 D で示されるとき, 8方位 (北, 北東, 東, 南東, 南, 南西, 西, 北西) は0度から45度毎に順次現れるものとなる。以後, 1つの標本地点を

$$(i, j, H)$$

と記述するものとする。ここで i 及び j は標本地点の

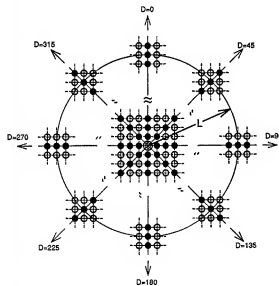


図1 UTM-DEM において着目する標本地点 (●印) を中心にした標本地点の配列の状況
●印は8方位にある標本地点を意味し, ○印は他の標本地点を意味する。

位置を示す行及び列番号であり, H はその標高値である。

3. 地上開度と地下開度

以下の議論は全て UTM-DEM を前提としている。

3.1 地上角と地下角

2つの標本地点 $A(i_A, j_A, H_A)$ と $B(i_B, j_B, H_B)$ を考える。標本間隔が50m であることから A と B の距離は $P = 50\sqrt{(i_A - i_B)^2 + (j_A - j_B)^2}$ となる。

図2は標高0 m を基準として, 標本地点の A と B の関係を示したものである。標本地点 A の標本地点 B に対する仰角 θ は

$$\theta = \tan^{-1}\{(H_B - H_A)/P\}$$

で与えられる。 θ の符号は① $H_A < H_B$ の場合には正となり, ② $H_A > H_B$ の場合には負となる。

着目する標本地点から方位 D 距離 L の範囲内にある標本地点の集合を ${}_D S_L$ と記述して, これを「着目する標本地点の D - L 集合」を呼ぶことにする。ここで,

${}_D \alpha_L$: 着目する標本地点の ${}_D S_L$ の各要素に対する仰角のうちの最大値,

${}_D \alpha_L$: 着目する標本地点の ${}_D S_L$ の各要素に対する仰角のうちの最小値,

として (図3参照), 次の定義をおこなう。

定義 I: 着目する標本地点の D - L 集合の地上角及び地下角とは, 各々

$${}_D \phi_L = 90 - {}_D \alpha_L$$

及び

$${}_D \psi_L = 90 + {}_D \alpha_L$$

を意味するものとする。

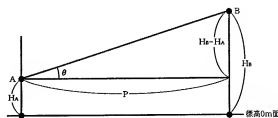


図2 標本地点 A の標本地点 B に対する仰角 θ

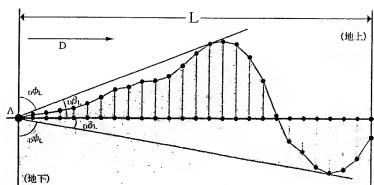


図3 標本地点AのD-L集合の地上角及び地下角

ϕ_L は着目する標本地点から距離L以内で方位Dの空を見ることができる天頂角の最大値を意味している。一般に言われる地平線角とはLを無限大にした場合の地上角に相当している。また、 ϕ_L は着目する標本地点から距離L以内で方位Dの地中を見ることができる天底角の最大値を意味している。Lを増大させると、 ϕ_L に属する標本地点の数は増加することから、 ϕ_L はLに対して非減少特性を持ち、逆に ϕ_L は非増加特性を持つ。したがって ϕ_L 及び ϕ_L は共にLに対して非増加特性を持つことになる。

測量学における高度角とは、着目する標本地点を通過する水平面を基準にして定義される概念であり、 θ とは厳密には一致しない。また地上角及び地下角を厳密に議論しようとするれば、地球の曲率も考慮しなければならず、定義Iは必ずしも正確な記述ではない。定義Iは、あくまでもUTM-DEMを用いて地形解析をおこなうことを前提として定義された概念である。

3.2 地上開度と地下開度

地上角及び地下角は指定された方位Dについての概念であったが、これを拡張したものとして、次の定

義を導入する。

定義II：着目する標本地点の距離Lの地上開度及び地下開度とは、各々

$$\Phi_L = (\phi_L + 45\phi_L + 80\phi_L + 125\phi_L + 180\phi_L + 225\phi_L + 270\phi_L + 315\phi_L)/8$$

及び

$$\Psi_L = (\phi_L + 45\phi_L + 80\phi_L + 125\phi_L + 180\phi_L + 225\phi_L + 270\phi_L + 315\phi_L)/8$$

を意味するものとする。



















地上開度は着目する標本地点から距離Lの範囲内で見える空の広さを表しており、また地下開度は逆立ちをして地中を見渡す時、距離Lの範囲における地下の広さを表している(図4参照)。

開度は距離Lと周辺地形に依存している。表1は9種の基本地形についての地上開度及び地下開度を、方位毎の地上角及び地下角の8角形グラフで示したものである。一般に地上開度は周囲から高く突き出ている地点ほど大きくなり、山頂や尾根では大きな値をとり窪地や谷底では小さい。逆に地下開度は地下に低く食



図4 着目する標本地点(●印)における開度

表1 基本地形の中の注目する標本地点(●印)の地上開度と地下開度
開度は平地の地上角及び地下角(90度となる)を5目盛とする方位別の相対的尺度の8角形グラフで示している。

	基本地形	地上開度	地下開度
1	平地	(中) 	(中) 
2	山頂	(特大) 	(特小) 
3	凹地	(特小) 	(特大) 
4	南北に走る尾根	(大) 	(小) 
5	南北に走る谷	(小) 	(大) 
6	東西の谷と南北の尾根による鞍部	(中) 	(中) 
7	東向きの一様な斜面	(中) 	(中) 
8	西側の平地と東側の下向斜面の境界	(中大) 	(中小) 
9	西側の平地と東側の上向斜面の境界	(中小) 	(中大) 

い込んでいる地点ほど大きくなり、窪地や谷底では大きな値をとり山頂や尾根では小さい。実際には、距離 L の範囲内で種々の基本地形が直在しているために、地上角及び地下角の8角形グラフは変形され開度も種々の値をとることが多い。

前述のように $\phi_{\phi L}$ 及び $\phi_{\psi L}$ が L に対して非増加特性を持っていることから、 Φ_L 及び Ψ_L もまた L に対して非増加特性を持っている。

4. 作成された開度図

岩手山を中心とする北緯39度36分～39度57分及び東経140度44分～141度23分の領域についての $L=5$ km及び $L=0.5$ kmの開度図を作成した。また比較のためにラブラシアンによる演算処理もおこなった。

4.1 対象領域の地形的特徴

図5は対象領域の地勢図である。ほぼ中央に岩手山(2,038m)があり、その南麓には磐石盆地があり、東麓には北上川上流部の平地が広がっている。この平地の東側からは姫神山(1,124m)を中心とする北上高地西部の山々が迫ってきている。また岩手山の西側は奥羽山脈であり、八幡平(1,613m)から秋田駒ヶ岳(1,637m)にかけての帯は火山地形を形成しており、南西部には五番森(1,048m)を中心とする非火山性地形が広がっている。

4.2 5 km 地上開度

図6は $L=5$ kmの地上開度図である。開度が大きい程白く表示していることから、頂上及びそれから伸びている尾根線は白く谷線は黒く現れ、平地や斜面などは中間のグレーとして現れている。尾根線は周囲(計算距離 L の範囲で)に比べて標高が高いほど白く、地形が急峻なものほど細い。同様に谷線は谷が深いほど黒く、谷底が狭いほど細い。前者の典型には岩手山頂から伸びる尾根線があり、後者には岩手山の南西麓に延びている葛根田峡谷がある。岩手山の西側一帯は典型的な楯状火山地帯(アスピーテ)のなだらかな地形を形成しているが、ここでは白黒バッチ状のテクスチャが見られる。一方南西縁の五番森一帯や東側の北上高地は白黒の線を主体としたテクスチャとなっており、尾根線と谷線が交錯した浸食地形を形成していることがわかる。五番森の場合は白黒コントラストが大きく粗いことから開析が乏しい急峻な起伏の大きい地形であり、北上高地は細かなコントラストが小さいテクスチャであることから起伏の小さい地形であることが判読できる。北上川上流部の平地及び磐石盆地は平坦であることから、一帯がグレーで現れているが、詳細に観察すると段丘や浸食の地形が読み取れる。

4.3 5 km 地下開度

図7は $L=5$ kmの地下開度図である。開度が大きいほど白く表示している。深い谷ほど白く底が広い谷ほど太く現れている。比較的白い領域が広がっている

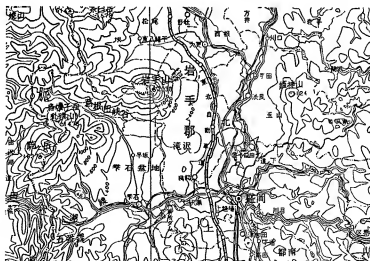


図5 開度図の作成の対象領域(北緯39度36分～39度57分、東経140度44分～141度23分)

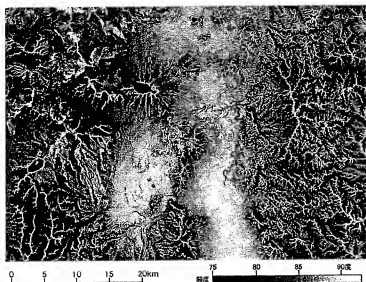


図 6 $L=5\text{km}$ の地上開度図

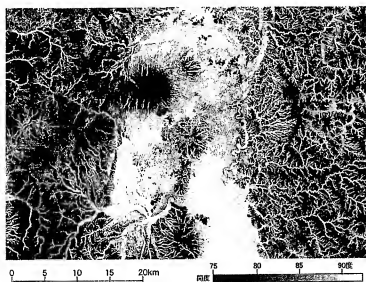


図 7 $L=5\text{km}$ の地下開度図

部分の中にもより白い細い線が見えるところは谷底で新しい開析が進行している部分である。図 6 の地上開度と図 7 の地下開度是对应関係にあるが、それぞれ異なる観点からの地形特徴を表示している。共に白い部分に着目した判読が容易であるという意味からは、図 6 は尾根線を主体とした地形判読に適しており、図 7 は谷線を主体とした地形判読に適していると言える。図 6 及び図 7 の白黒テクスチャ、即ち線構造テクスチャの部分では線の密度、長さ、太細、屈曲の程度、

コントラストなどが、またパッチ状テクスチャの部分ではコントラスト、広がり、接続関係など、起伏、開析、隆起などに関する重要な地形・地質の情報を反映していると言えよう。

図 6 及び図 7 は着目地点から 5 km の範囲の大局的な地形特徴を示しており、局所演算のノイズに弱いという欠点は持っていない。また開度は 8 方位の地上角または地下角の平均として算出されることから、方向にはほとんど依存しない。

4.4 0.5km 地上開度

図8は $L=0.5\text{km}$ の地上開度図である。地上開度としては図6と同じであるが、図8は白黒のコントラストが強く、より多くの白と黒の線が現れている。前述したように開度は L に対して非増加特性を持っていることから、 L を小さく指定すると着目標本地点により近い領域の地形特徴を抽出することになる。図6に現れている尾根線や谷線は図8にも現れるが、逆に図

8の尾根線や谷線が全て図6に現れているわけではない。この意味では図6は巨視的な地形特徴を抽出しているのに対して、図8では微視的な地形特徴を抽出していることになる。

4.5 0.5km 地下開度

図9は $L=0.5\text{km}$ の地下開度図である。ここでも計算距離 L の違いにより、図7に比べて白黒のコントラ

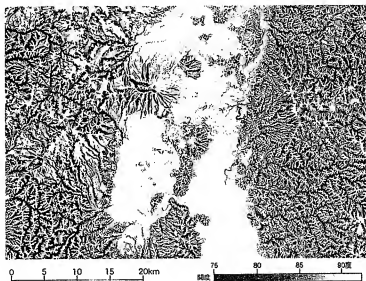


図8 $L=0.5\text{km}$ の地上開度図

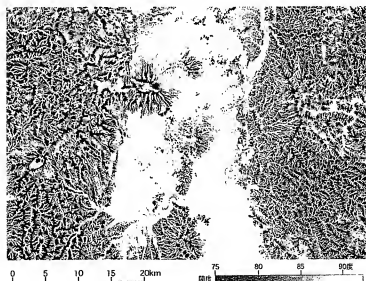


図9 $L=0.5\text{km}$ の地下開度図

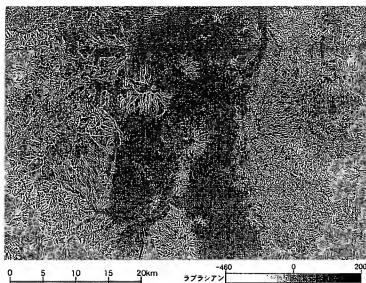


図10 ラプラシンの演算処理結果

ストが強く、より多くの谷線が現れている。特に岩手山麓の部分や岩手山の西側の八幡平や秋田駒ヶ岳の火山地帯には、図7では識別できなかった微細な谷線が見えている。

4.6 ラプラシンの地形図

図10は対象領域の UTM-DEM に対するラプラシンの演算結果である。ラプラシアンは空間2次元微分にもとづいたエッジ検出の画像処理手法として知られており⁹⁾、DEMに適用した場合には凹凸地形の特徴抽出として知られている⁹⁾。ラプラシアンは一般に凹型の地形では正の大きな値を示し、凸型の地形では負の小さな値を示す。また平地や単調斜面のような勾配の変化が小さな地形においては0に近い値を示す。図では、ラプラシアン値が大きい地点ほど黒く、小さい地点程白く表示してある。確かに尾根線や谷線は、それぞれ白及び黒の線として現れているが、図6～図9に比べて、濃淡性に欠けるために判読できる情報は貧弱である。

5. 結 論

本論文では、地形特徴を表現する新たな指標として、デジタル標高モデルを用いて指定した計算距離の下での地上開度及び地下開度を提案した。実際に岩手山周辺

地域について、計算距離の異なる地上開度図及び地下開度図を作成した。地上開度図と地下開度図は、各々凸地形及び凹地形の特徴を適切に反映したものとなっていた。また計算距離を大きくとれば巨視的な地形が抽出され、小さくとれば微視的な地形が抽出できることも判明した。これらの主題図は、従来のレリーフマップや微分演算による主題図に比べて、より豊富な地形情報を含んでおり、地形・地質の判読に新しい境地を開くものとして期待される。現在我々は対象領域を広げて地上開度図及び地下開度図を作成中であるが、段丘、火山、扇状地、丘陵、断層など他の地形についても、図上で特徴的な像として現れることが確認されている。また開度は地形の判読や分類にも効果的に利用できる可能性を持っており、現在関連分野の専門家との議論を重ねている。これらの研究結果については別の機会に報告したい。

参考文献

- 1) Horn, B. K., Hill shading and the reflectance map, Proc. of the IEEE, Vol. 69, No. 1, pp.14-47, 1981.
- 2) Weibel R. and Heller M., Digital terrain modeling, pp.269-297, Chap. 19, Geographical Information Systems, Longman Scientific & Technical, 1991.

- 3) Peucker, T. K. and Douglas, D. H., Detection of surface specific points by local parallel processing of discrete terrain elevation model, Computer Graphics and Image Processing, Vol. 4, No. 3, pp. 375-387, 1975.
- 4) Jenson, S. and Diminiquie, J., Extracting topographic structure from digital elevation data for geographical information system analysis, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol. 54, No. 11 pp.1593-1600, 1988.
- 5) Lee, J., Digital analysis of viewshed inclusion and topographic features on digital elevation models, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol. 60, No. 4, pp.451-456, 1994.
- 6) Błaszczyński, J. S., Landform characterization with geographic information systems, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol. 63, No. 2, pp.183-191, 1997.
- 7) 野村正七, 地図投影法, (財)日本地図センター。
- 8) Rosenfeld, A. and Kak, C., Digital picture processing, second edition, Vol.1, Academic Press, New York, 1982.
- 9) 野上道男, 細密 DEM の紹介と流域地形計測, 地理学評論, 68A-7, pp.465-474, 1995.